

# VEĽKOROZMEROVÝ POŽIARNY TEST SPRIAHNUTEJ OCEĽOBETÓNOVEJ KONŠTRUKCIE

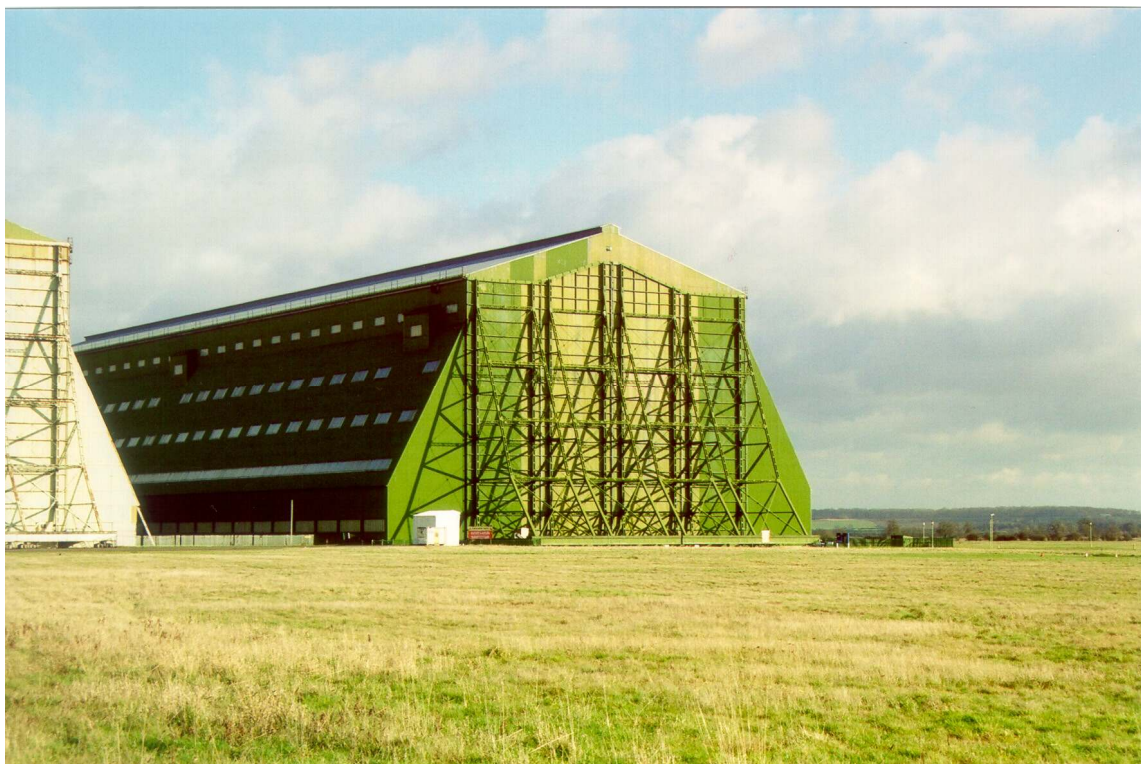
M. Chladná, F. Wald

## 1. Úvod

Požiarne odolnosť je v súčasnosti dosť veľkým problémom pri navrhovaní oceľových a spriahnutých oceľobetónových konštrukcií. Pri navrhovaní oceľových rámových budov so spriahnutými stropmi je dnes bežnou praxou, že všetky požiaru vystavené oceľové časti - stĺpy, prievlaky a stropné nosníky - sa chránia požiarno ochrannými materiálmi, čo zvyšuje cenu konštrukcie a znevýhodňuje ju tak v porovnaní s betónovými konštrukciami. Dôvodom je, že výpočtové postupy v normách sú založené predovšetkým na normových skúškach izolovaných prvkov, ktoré nezohľadňujú spolupôsobenie medzi jednotlivými časťami konštrukcie. Je to metóda bezpečná, ale veľmi konzervatívna, pretože zanedbáva vlastnú požiarne odolnosť konštrukcie ako celku.

Z tohoto dôvodu sa v posledných rokoch začal výskum zameriavať na podrobnejšie preskúmanie spolupôsobenia jednotlivých konštrukčných prvkov, kde nezastupiteľnú úlohu majú veľkorozmerové experimenty.

V tomto zmysle unikátnym skúšobným priestorom je laboratórium pre skúšky veľkého rozsahu (LBTF) v Cardingtone neďaleko Bedfordu (UK). Laboratórium je umiestnené v bývalom hangári na výrobu vzducholodí s rozmermi 48 x 65 x 250 m (obr. 1).



Obr. 1

Z väčších objektov sa v hale nachádzajú šesťpodlažná drevená, sedempodlažná železobetónová (obr. 2) a osem-podlažná oceľobetónová budova (Obr. 3). Oceľobetónová budova je navrhnutá ako typická moderná administratívna budova s úžitkovou plochou 945 m<sup>2</sup>. Objekt je vysoký 33 m, pôdorysné rozmery 21 x 45 m s tromi traktami 6 m + 9 m + 6 m a piatimi poliami, každé dĺžky 9 m. Konštrukcia je v obidvoch smeroch vystužená diagonálnymi vystužovadlami umiestnenými okolo troch prístupových zvislých šachiet (Obr. 4). Stĺpy sú oceľové z HEB profilov, stropné nosníky a prievlaky sú navrhnuté

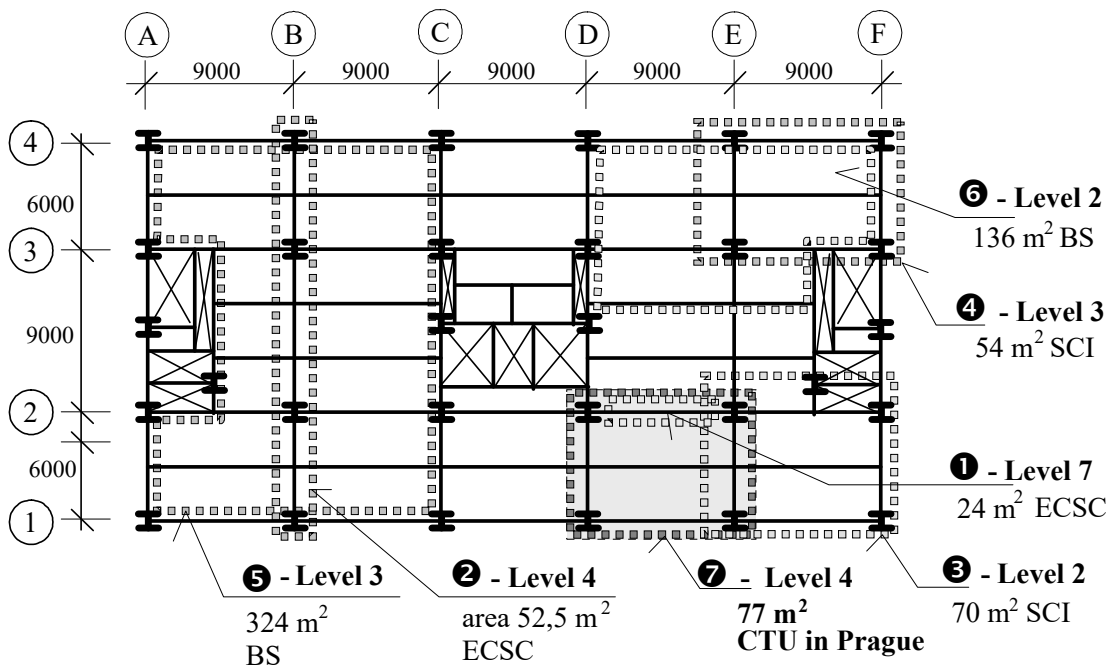
ako proste podopreté ocelové I prierezy spriahnuté prostredníctvom trňov so železobetónovou stropnou doskou. Stropná doska je z ľahkého betónu betonovaná do trapézových plechov s max. hrúbkou 130 mm. Vystužená je len jednou vrstvou výstuže vo forme siete umiestnenej nad horným okrajom trapézového plechu.



Obr. 2 Šesťpodlažná drevená (v popredí) a sedempodlažná železobetónová budova



Obr. 3 Osem-podlažná ocelobetónová budova s požiarnym úsekom



Obr. 4 Pôdorys typického podlažia s vyznačením polohy experimentov

Na objekte sa doteraz uskutočnilo 7 hlavných požiarnych experimentov. Ich cieľom bolo sledovať správanie sa konštrukcie za požiaru.

Prvý experiment bol zameraný na správanie sa nosníka pri vysokých teplotách so skutočnými okrajovými podmienkami. Pri experimente 2 bola teplotou zaťažená celá priečna väzba. Pri týchto prvých dvoch skúškach boli použité plynové horáky, pri ďalších spaľovanie dreva alebo kancelárskeho vybavenia (skúška č. 6). Skúšky č. 3 až 6 preverovali pôsobenie ocelobetónovej stropnej konštrukcie a viedli k zvýšeniu spoľahlivosti tohoto typu konštrukcií. Mechanické zaťaženie bolo vnášané pomocou vriec s pieskom. Priebeh horenia pri skúškach 3 až 5 bol ovplyvnený obmedzením prívodu kyslíka. Pri požiarnej spoľahlivosti sa vychádzalo z modernej koncepcie, keď sa stĺpy chránia tepelno izolačným materiálom a ocelobetónové stropy a ohýbané nosníky sú bez požiarnej ochrany. Pri všetkých skúškach sa potvrdilo dobré chovanie ocelevej konštrukcie zaťaženej prirodzeným požiarom.

Posledný experiment sa uskutočnil v januári 2003 pod vedením prof. Walda z ČVUT Praha. Na príprave skúšky sa po dobu tri a pol mesiaca podieľalo spolu 19 pracovníkov (6 z ČVUT, 8 z British Research Establishment z Watfordu, 3 z TU Coimbra, 1 z STU a 1 z TU Sheffield).

## 2. Popis experimentu

Hlavnými cieľmi skúšky bolo získanie poznatkov o rozvoji teploty v styčníkoch, o vnútorných silách v styčníkoch a o chovaní spriahnutej dosky [1]. Pre účely experimentu bol na treťom podlaží vytvorený požiarne úsek s rozmermi 7 m x 11 m (Obr. 4), skúšaná bola stropná doska nad tretím podlažím. Steny požiarneho úseku boli tvorené priečkami zo sádkartónových dosiek (tri vrstvy s hrúbkami 15 + 12,5 + 15 mm a s tepelnou vodivosťou  $\lambda_p = 0,20 \text{ W m}^{-1} \text{ °K}^{-1}$ ) na oceľových tenkostenných profiloch (Obr. 5).



Obr. 5 Pohľad na požiarne úsek s požiarne zaťažením

Sádkartónové dosky boli ukončené 0,5 m pod stropom, vzniknutá medzera bola uzavretá rohožami z kremičitých vlákien tak, aby bola umožnená voľná deformácia stropu. V obvodovom plášti bol vytvorený otvor s výškou 1,27 m a dĺžkou 9 m nad sádkartónovou priečkou (Obr. 3, 5).

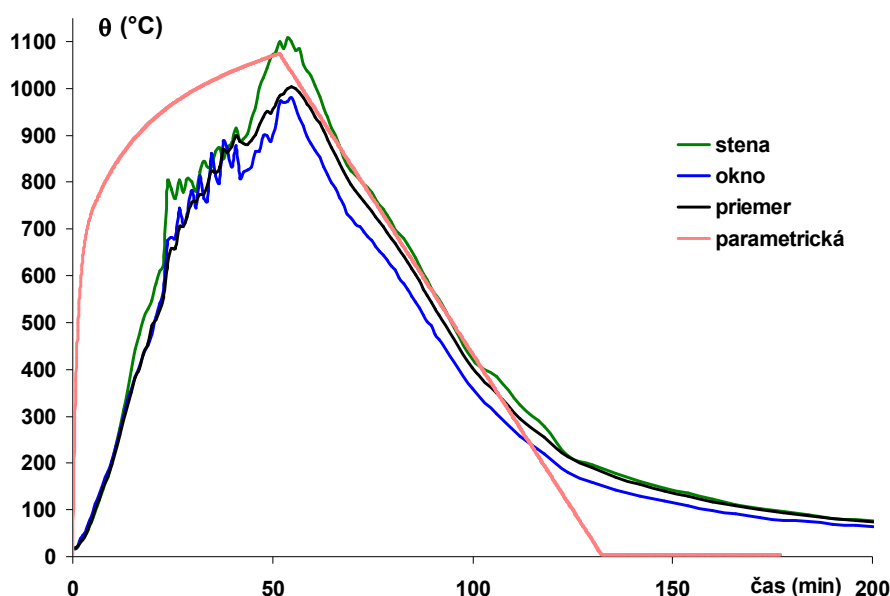
Stĺpy vnútri požiarneho úseku boli na celej svojej výške chránené protipožiarne nástrekom na báze vermikulitu (Cafoo 300, hrúbka 15 mm, tepelná vodivosť  $\lambda_p = 0,078 \text{ W m}^{-1} \text{ °K}^{-1}$ ), vrátane častí

pripájaných nosníkov s dĺžkou 1,2 m. Oceľová konštrukcia stropu v požiarnom úseku bola bez tepelnej izolácie. Budova bola navrhnutá na stále zaťaženie 3,65 kN/m<sup>2</sup> a premenné zaťaženie 3,5 kN/m<sup>2</sup>. Na štvrtom podlaží boli na ploche 18 x 10,5 m umiestnené vrecia s pieskom, každé s hmotnosťou 1,1 t, ktoré predstavovali počas skúšky plné stále a dlhodobé premenné zaťaženie vrátane 56% krátkodobého premenného zaťaženia. Požiarné zaťaženie 40 kg/m<sup>2</sup> (720 MJ/m<sup>2</sup>) tvorilo spolu 32 hraníc z drevených hranolov 50 x 50 x 1000 mm s vlhkosťou 11,8%, čo veľkosťou zodpovedá bytovému požiaru (Obr. 5).

Pri experimente sa merali teploty plynov v požiarnom úseku, teploty oceľových nosníkov, styčníc a betónovej dosky, ktoré zaznamenávalo 148 termočlánkov. Vnútorne sily v styčníkoch sa určovali z desiatich vysokoteplotných tenzometrov (HITEC PRODUCTS, INC., HBWAH-12-250-6NL). Napätosť v tepelne izolovaných stĺpoch a v oceľobetónovej doske sa vyšetrovala 57 tenzometrami. Zmenu geometrie konštrukcie snímalo 37 induktívnych snímačov deformácií. Na merania bolo použitých viac ako 250 snímačov, všetky boli prepojené s ústredňou Orion Delta, ktorá odčítala dáta, prevádzala a zaznamenávala. Dáta sa ukladali na vyhodnotenie pripojeným osobným počítačom. K popisu priebehu horenia a deformácie stĺpov a stropnej dosky slúžilo 10 videokamier. Dve termokamery (FLIR 695 PM) s objektívmi s uhlom 6° zaznamenávali teplotu styčníc konštrukcie s rozlíšením 24 x 24 mm.

### 3. Výsledky meraní

Vhodnou voľbou požiarného zaťaženia a veľkosti otvorov sa dosiahlo dlhé trvanie požiaru s pozvoľným rozvojom a bez výrazného preskoku (flashover). Priebeh horenia bol riadený ventiláciou. Na Obr. 6 je predpovedaný a skutočný priebeh teplôt v požiarnom úseku (teplota sa merala 0,3 m pod stropom na 18 miestach po celom požiarnom úseku).



Obr. 6 Namerané teploty v požiarnom úseku a vypočítané podľa parametrickej teplotnej krivky

Najvyššia nameraná teplota vzduchu, 1108°C, bola nameraná v 55 minúte. Najvyššia teplota oceľovej konštrukcie bola nameraná v 57 minúte v strede stropného nosníka, 1088°C. Maximálne teploty horného povrchu dosky dosahovali hodnoty 50 až 103°C, maximálne teploty výstuže sa pohybovali okolo 350 - 400°C. Zbytkový priehyb konštrukcie bol zmeraný po vychladnutí konštrukcie po 48 hodinách a dosahoval 925 mm (Obr. 7).



Obr. 7 Deformácia stropnej konštrukcie po požiari

#### 4. Závery

V priebehu testu nedošlo k progresívnemu kolapsu konštrukcie, napriek tomu že mechanické zaťaženie za požiaru prekročilo výrazne návrhové hodnoty (56% užitočného) a teplota ocelových nosníkov prekročila 1000°C. Počas chladnutia konštrukcie došlo k porušeniu styčníc prasknutím polovice čelnej dosky pozdĺž zvaru (Obr. 8) a ovalizáciou otvorov pre skrutky. K porušeniu skrutiek ani k strate šmykovej únosnosti prípoja nedošlo.

V prípade spriahnutej stropnej konštrukcie po vyčerpaní plastickej únosnosti ocelových nosníkov za požiaru začala preberať ďalej zaťaženie betónová doska. Vplyvom veľkých deformácií v nej začali vznikať a pôsobiť membránové napätia, vďaka ktorým bola doska schopná roznieť zaťaženie z požiarom zasiahnutých ocelových spriahnutých nosníkov do nepoškodených častí ocelevej konštrukcie. Hoci v betónovej doske vznikli značné trhliny, nedošlo k zrúteniu stropnej konštrukcie. Aj týmto experimentom sa potvrdilo, že spolupôsobenie spriahnutej plechobetónovej dosky s ocelovými nosníkmi je v doterajších zaužívaných výpočtových postupoch podhodnotené a správanie sa takejto konštrukcie ako celku je značne priaznivejšie ako správanie sa jednotlivých izolovaných prvkov, z ktorých sa určuje únosnosť konštrukcie.

Ďalšie výskumné práce nadväzujúce na výsledky experimentu sa zamerajú na problematiku lokálneho vydúvania spodnej pásnice v styčnícach konštrukcie za požiaru. Pozornosť bude zameraná aj na problematiku membránových napätí v stropnej doske za požiaru a využitia tohto mechanizmu prenosu zaťaženia pri návrhu spriahnutých stropných konštrukcií na účinky požiaru.



Obr. 8 Porušenie styčníka prasknutím polovice čelnej dosky pozdĺž zvaru

#### LITERATÚRA

- [1] Wald, F. a kol.: *Structural Integrity Tests CV5535 Cardington - Part 1-4*. Internal report, ČVUT, Praha, 2003
- [2] Beneš M., Wald F., Hřebíková P., Chladná M.: *Požární experiment na osmipodlažním objektu v Cardingtonu*. zborník 20. česká a slovenská mezinárodní konference Ocelové konstrukce a mosty 2003, Praha
- [3] Armer, G. S. T. - Moore, D. B.: *Full-Scale Testing on Complete Multi-storey Structures*. Structural Engineer, Vol. 72, No. 2, 1994, pp. 30-31
- [4] Bailey, C. G. - Lennon, T. - Moore, D. B.: *The behaviour of full-scale steel framed buildings subjected to compartment fires*. Structural Engineer, Vol. 77, No. 8, 1999, pp. 15-21
- [5] Lennon, T.: *Cardington fire tests: instrumentation locations for large compartment fire test*. Report N100/95, Building Research Establishment, Watford, 1996
- [6] Moore, D. B. - Lennon, T.: *Fire Engineering Design of Steel Structures*. Progress in Structural Engineering and Materials, Vol. 1, No. 1, 1997, pp. 4-9
- [7] Newman, G. M. - Robinson J.T. - Bailey C.G.: *A New Approach to Multi-Storey Steel-Framed Buildings*. SCI Publication 288, The Steel Construction Institute, Ascot, 2000